

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 101 44 479.6

Anmeldetag: 10. September 2001

Anmelder/Inhaber: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH,
Karlsruhe, Baden/DE; KEA-TEC GmbH,
Waghäusel/DE.

Erstanmelder: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH,
Karlsruhe, Baden/DE

Bezeichnung: Elektroporationsreaktor zur kontinuierlichen Pro-
zessierung von stückigen Produkten.

IPC: B 01 J, A 23 L

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. November 2002
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wassmaier

Forschungszentrum
Karlsruhe GmbH
ANR 5661498

Karlsruhe, den 10. September 2001
PLA 0152 Mh/la

**Elektroporationsreaktor zur kontinuierlichen Prozessierung von stückigen
Produkten**

Forschungszentrum
Karlsruhe GmbH
ANR 5661498

Karlsruhe, den 10. September 2001
PLA 0152 Mh/la

Patentansprüche

1. Elektroporationsreaktor zur kontinuierlichen Prozessierung von stückigen Produkten, dem Prozessgut, wie Agrarprodukten, wie Zuckerrüben, Kartoffel, Gemüse, Obst, Heilpflanzen und auch tierische Produkte, in einer Prozessflüssigkeit mit Hochspannungsimpulsen bestehend aus:
 - einer kreiszylindrischen metallischen Trommel (7) mit dielektrischen Überzug oder ganz aus dielektrischem Material,
 - die, horizontal liegend, um ihre Zylinderachse/ Rotationsachse mit 0,5 bis 4 Umdrehungen pro min umlaufen kann,
 - Mitnehmern (5) auf der äußeren Mantelwand der Trommel (7), die darauf gleichverteilt um den Umfang angebracht sind,
 - einem Gehäuse (11) aus dielektrischem Material,
 - das mit seiner Reaktorwand (12) die Trommel (7) mit ihren Mitnehmern (5) bis auf einen oberhalb der Rotationsachse (3) liegenden offenen Bereich berührungslos aber äquidistant umgibt,
 - einer Prozessgut-Aufgabeeinrichtung (13),
 - an deren unterem Bereich ein Zuführrechen (6) angebaut ist, der an der Zuführzone (a) des Elektroporationsreaktors angebracht ist und durch den die Mitnehmer (5) der Trommel (7) laufen,
 - einer Entgasungszone (b), einer Reaktionszone (c) im Spalt zwischen der Trommel (7) und der Reaktorwand (12) des Gehäuses (11) sowie einer Austragszone (d),
 - die von den Mitnahmefinger (5) durchlaufen werden,

einem Austragsrechen (14),
durch den die Mitnehmer (5) der Trommel (7) laufen, um das herangebrachte, in-
zwischen prozessierte Prozessgut aufzusammeln und auf einer an der Austrags-
zone (d) ansetzenden Austragsschurre (15) zu lenken,

mindestens einer zur Trommel (7) hin blank liegenden Elektrodengruppe (1) aus
mindestens einer Elektrode (1) im tiefstliegenden Bereich der Reaktorwand (12),
die sich höchstens über die Länge des Trommelmantels erstreckt und stets voll-
ständig von der Prozessflüssigkeit benetzt ist und jede Elektrodengruppe über ei-
nen eigenen Schalter an ein eigenen elektrischen Energiespeicher angeschlos-
sen ist,

und

Gruppen von Öffnungen (2) im dielektrischen Überzug auf der metallischen
Trommel (7) zum Spalt hin oder

Gruppen von zum Spalt hin blank liegenden geerdeten Elektroden darauf oder
auf der Trommel (7) aus dielektrischem Material,

wobei die blank liegenden Elektrodenflächen auf der Trommel (7) über die Trom-
melachse (3) geerdet sind,

um im Spaltbereich der mit Hochspannung zu beaufschlagenden Elektroden-
gruppe innerhalb von höchstens 3 μsec eine elektrische Feldstärke von 10 kV/cm
einrichten zu können, damit das mitgenommene, sich in der Prozessflüssigkeit
befindliche Prozessgut an seinen biologischen Zellen entlang deren jeweiliger
Hauptachse z, längere Achse einer biologischen Zelle, mindestens einmal beim
Durchgang die Schwellenpotentialdifferenz

$$\Delta\varphi = z * E = 10 \text{ V}$$

für irreversible Elektroporation erreicht,

einer Prozess-Flüssigkeitsfüllung im Spalt mit einem Pegel unterhalb der Dreh-
achse (3) und oberhalb der höchstliegenden Elektrodengruppe.

eine Tiefe des Eintauchbereich des Prozessgut in die Prozessflüssigkeit, die Ent-
gasungszone (b), über mindestens eine Spaltbreite zur sichern Entlüftung des
Gemisches aus Prozessgut und Prozessflüssigkeit.

2. Elektroporationsreaktor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass,
die an der Trommel (7) angebrachten Mitnehmer (5) einen dielektrischen Überzug
haben oder aus einem dielektrischen Material sind,
biegesteif und an ihrer exponierten Oberfläche abriebfest und inert gegen die
Prozessumgebung sind.
3. Elektroporationsreaktor nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass,
die an der Trommel angebrachten biegesteifen Mitnehmer (5) elastisch gelagert
sind.
4. Elektroporationsreaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass,
die Anlage durch eine metallische Umhüllung nach außen hin elektromagnetisch
dicht ist.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Elektoporationsreaktor zur großtechnischen kontinuierlichen Prozessierung von stückigen Produkten, dem Prozessgut, insbesondere Agrarprodukten, wie Zuckerrüben, Kartoffel, Gemüse, Obst, Heilpflanzen und auch tierischen Produkten, in einer Prozessflüssigkeit mit Hochspannungsimpulsen. Die Agrarprodukte liegen in wie bei der Ernte anfallenden ganzen Elementen als absieb-
bare Fraktion oder vorzerkleinert vor.

Das Verfahren zum Aufschluss des Zellmaterials mit gepulsten elektrischen Feldern (Hochspannungsentladungen) wird als Elektroporation bzw. Elektropiasmolyse bezeichnet.

Aus der Literatur sind Vorrichtungen bekannt, die zur Behandlung von Pflanzenzellen bzw. pumpbaren Lebensmitteln eingesetzt werden. Beispielsweise die folgenden:

US 3,766,050 „Apparatus for the treatment of fluids or solutions by electric fields“;

1973-10-16. In ihr werden Reaktorbauformen mit unterschiedlich angeordneten Elektroden und dimensionierten Strömungskanälen beschrieben. Die Reaktoren sind ausschließlich für kleine Mengen und kleine Partikelgrößen einsetzbar.

US 4,723,483 „Electroplasmolyzer for processing vegetable stock“; 1988-02-09 bzw.

FR 2 619 489 „Electroplasmolyzer for processing vegetable materials“; 1989-02-24.

In diesen Literaturstellen wird ein runder bzw. rechteckiger Reaktorquerschnitt beschrieben, in dem Elektrodenpaare in unterschiedlichen Anordnungen installiert sind. Das Produkt wird durch Schwerkraft oder Pumpendruck durch den Reaktor gefördert.

US 5,031,521 „Electroplasmolyser for processing plant raw material“; 1991-07-16.

Darin wird eine ähnliche Reaktorgeometrien wie US 4,723,483 beschrieben, die elektrische Energie wird jedoch durch Elektromagneten appliziert.

US 5,186,800 „Electroporation of prokaryotic cells“; 1993-02-16. Hier werden kleinste Laborreaktoren beschrieben, in denen kleine Produkt mengenweise mit Spannungsimpulsen behandelt werden. Die Reaktoren weisen keine bewegten Teile auf.

US 5,549,041 „Batch mode food treatment using pulsed electric fields“; 1996-08-27

Diese Schrift beschreibt kleine Reaktoren mit flächigen Elektroden zwischen denen zu behandelnde Suspensionen gepumpt werden.

Das Verfahren der Elektroporation wird zur Gewinnung von intrazellulären Substanzen eingesetzt. Dabei werden die wertbringenden Stoffe meist abgepresst bzw. über

Extraktionsvorgänge gewonnen. Die Behandlung mit gepulsten elektrischen Feldern erfolgt in einer Prozessflüssigkeit, die zumeist Wasser mit geringer Leitfähigkeit ist. Bekannte Vorrichtungen (Reaktoren) sind für pumpbare Lebensmittel und Suspensionen einsetzbar.

Sollen nun auch stückige Produkte mit 20 – 30 Sortenelementen, Stückgewichte 1-5 kg behandelt werden, ist eine Produktförderung durch bekannte Reaktoren nicht mehr möglich.

Die industrielle Prozessierung zu verarbeitenden Prozessgutes wie agrarisches Stückgut mit Hochspannungsimpulsen erfordert gegenüber den bisher bekannten Vorrichtungen zur Elektroporation einen hohen kontinuierlichen Massedurchsatz bei einer möglichst gleichmäßigen Einwirkung eines gepulsten elektrischen Feldes. Die dabei auftretenden Schwierigkeiten sowie die Nachteile des Stands der Technik sind folgende:

- Produktdurchsatz

Bei den in der Vorrichtung zu behandelnden Agrarprodukte sind oftmals hohe Stundendurchsätze erforderlich (z.B.: Zuckerindustrie 600 Mg Rüben/ h). Die Vorrichtung muss hohe Durchsätze bei geringster Produktschädigung ermöglichen.

- Produkttransport

Zwischen dem zu behandelnden Produkt und der zur Pulsbehandlung erforderlichen Flüssigkeit besteht nur ein geringer Dichteunterschied. Dies führt dazu, dass aufgrund der geringen Sinkgeschwindigkeit bei selbstständigem Nachrutschen des Produkts keine ausreichend großen Produktdurchsätze möglich sind.

- Verstopfungsproblematik

Aufgrund der unterschiedlichen geometrischen Formen der zu behandelnden Agrarprodukte ist eine erhöhte Anfälligkeit für Verstopfungen und Brückenbildung gegeben.

- Reaktorgeometrie, Verstopfung

Aufgrund der zur Begrenzung des Energiebedarfs erforderlichen hohen Feldstärken (Elektrobepulsung) sind auch bei hohen Pulsspannungen keine sehr großen

Reaktordurchmesser realisierbar. Kleine Reaktordurchmesser weisen eine hohe Verstopfungsneigung auf.

- Produktverlust

Zur Vermeidung von Produktverlusten (Vorextraktion) und zur Begrenzung der in der Betriebsflüssigkeit akkumulierenden Elektrolyten ist die Behandlung unversehrtter Produkte (ganze Rüben, Äpfel, Tomaten, Gurken u.s.w.) sinnvoll jedoch nicht zwingend erforderlich.

- Produktbehandlung

Insbesondere bei Obst wird ein Aufschwimmen des Produkts beobachtet. Damit kann keine ausreichende Behandlung mit Spannungsimpulsen erreicht werden.

- Wirkung des elektrischen Feldes

Zur Optimierung des erforderlichen Energieeintrags ist es erforderlich, dass das Produkt gegenüber dem gepulsten elektrischen Feld eine Relativbewegung ausführt. Es ist also eine kontinuierliche Förderung erforderlich.

Daraus stellte sich die Aufgabe die zu der Erfindung führte, nämlich eine Anlage bereitzustellen, die es ermöglicht, bei relativ geringen Förderquerschnitten hohe Masseströme, z. B. 600 Mg/h, kontinuierlich durch ein periodisch oder in vorgegebenen Zeitabständen gepulstes elektrisches Feld zu fördern. In Kombination mit geeigneten Impulserzeugungseinrichtungen, z.B. eine Kondensatorbank mit einem gesteuerten oder im Selbstdurchbruch betriebenen Schalter, ein Marxgeneratoren, ist es möglich, einen nichtthermischen Zellaufschluss, durch irreversible Perforation der Zellmembrane von vegetativen Zellen, bei geringem spezifischem Energiebedarf großtechnisch durchzuführen.

Die Lösung der Aufgabe wird durch einen Elektroporationsreaktor, gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Dieser besteht aus:
einer zylindrischen, elektrisch isolierten oder aus dielektrischem Material hergestellten Trommel, die um ihre Zylinderachse/Rotationsachse, horizontal liegend, umläuft. Auf ihrer äußeren Mantelfläche sind Mitnehmer, über den Umfang verteilt, angebracht. Die Mitnehmer sitzen parallel zur Rotationsachse der Trommel und

sind radial nach außen ausgerichtet. Eine doppelwandige Kammer aus dielektrischem Material, umgibt mit ihrer Innenwand die Trommel mit ihren Mitnehmern bis auf einen oberhalb der Drehachse liegenden offenen Bereich berührungslos und äquidistant. Eine Prozessgutaufgabevorrichtung mündet in den offenen Bereich der Kammer und dockt mit ihrem obenliegenden Bereich ihrer Mündung an der Innenwand der Kammer am oberen Rand des offen liegenden Bereichs an. Am unten liegenden Bereich der Mündung ist ein Zuführrechen angebaut, durch den die Mitnehmer der Trommel laufen. Eine Austragsschurre setzt am untenliegenden offenen Bereich der Kammer an der Innenwand an. Ein Austragsrechen, durch den die Mitnehmer der Trommel nach dem Auftauchen aus der Prozessflüssigkeit ebenfalls laufen, sammelt das herangeförderte, inzwischen elektrisch prozessierte Prozessgut auf und lenkt es auf die Austragsschurre zum Weitertransport.

In der Aufstellung im tiefstliegenden Bereich der Reaktionskammer ist in der äußeren Begrenzung der Reaktionskammer mindestens eine zur Trommel hin blank liegende Elektrodengruppe aus mindestens einer Elektrode eingelassen, die sich höchstens über die Höhe der Trommel erstreckt. Diese ist über einen hochspannungsgeeigneten, gesteuerten oder im Selbstdurchbruch betriebenen, schnellen Schalter an einen externen elektrischen Energiespeicher, der für den Zweck hinreichend schnell an die Elektrodengruppe gelegt werden kann, nur an diese Elektrodengruppe angeschlossen. Innerhalb vorgegebener Zeitabstände wird jeweils ein hohes elektrisches Potential an diese Elektrodengruppe gelegt, wodurch sich zu der auf der Trommel montierten Potentialelektroden hin, die über die Trommelachse geerdet ist, ein möglichst homogenes elektrisches Feld ausbildet, das stets so stark ist, dass das mitgenommene, sich in der Prozessflüssigkeit befindliche Prozessgut elektroporiert wird.

Bei der betriebsbereiten Anlage ist die zum Mantel der Trommel hin exponierte Fläche jeder Elektrodengruppe stets vollständig von der Prozessflüssigkeit benetzt. Auch ist jede Elektrodengruppe über einen eigenen Schalter an einen eigenen elektrischen Energiespeicher angeschlossen. Ein solcher Energiespeicher ist meist eine schnell entladbare Kondensatorbank, um den elektrischen Feld- bzw. Spannungsanstieg in den Reaktionsbereichen stets hinreichend schnell zu schaffen. Hierfür sind etwa Marxgeneratoren gut geeignet.

Weitere Merkmale, die einerseits zweckmäßig sind und andererseits einen Betrieb mit gutem konstanten Langzeitverhalten ermöglichen, sind:

So ist es erforderlich, das Prozessgut mit geringer Rotationsgeschwindigkeit zwangsweise zu fördern und im Eintauchbereich (Entgasungszone) zu entlüften. Im Bereich der Hochspannungsbehandlung (Reaktionszone) erfährt das während der Bepulsung aufgebaute elektrische Feld durch die Relativbewegung der Elektroden unterschiedliche Ausrichtungen, was zu einer deutlichen Verbesserung des Behandlungserfolgs führt.

Während des Betriebs steht der Pegel der Prozessflüssigkeit stets zwischen der Rotationsachse der Trommel und den am höchsten sitzenden Pulselektroden bzw. Elektrodengruppen. Der Eintauchbereich in die Prozessflüssigkeit ist über eine Tiefe von mindestens zwei mal dem Abstand zwischen den Potential- und Pulselektroden zur sicheren Entlüftung und damit Befreiung von Luftblasen des Gemisches aus Prozessgut und Prozessflüssigkeit elektrodenfrei gehalten.

Die gesamte Anlage ist gegenüber der Umgebung elektromagnetisch abgeschirmt, um Störungen an außerhalb liegendem Gerät und liegenden Einrichtungen nicht eintreten zu lassen.

Die Erfindung wird in ihrer Funktion und ihrem Aufbau im folgenden anhand der Zeichnung noch näher erläutert. Die Zeichnung besteht aus den Figuren 1 bis 3. Sie zeigen im einzelnen:

Figur 1 Schnitt Seitenansicht des Elektroporationsreaktors

Figur 2 Axialer Schnitt durch den Elektroporationsreaktor.

Figur 3 Abwicklung der Mantelflächen des Reaktionsraums mit Elektrodenanordnung.

Die folgende Beschreibung erfolgt am Beispiel der Behandlung von Rüben:

Die zuvor gewaschenen Rüben gelangen über die Produktaufgabeeinrichtung 13 und den Zuführtrichter 6 in die Zuführzone a des Elektroporationsreaktors und kommen in der Förderkammer zum Liegen. Die Förderkammer oder der Spalt mit

Reaktionszone wird durch die Trommel 7 mit hier einem dielektrischem Überzug und die äußere Begrenzung der Reaktionskammer 12 gebildet.

Durch das Drehen der Trommel über die Antriebseinheit 4 streifen die Mitnehmer 5 die Rüben vom Zuführrechen 6 ab und ziehen diese in den Förderspalt zwischen Trommel 7 und äußerer Begrenzung 12 der Reaktionskammer. Die zunächst noch trocken geförderten Rüben gelangen nach ca. einer $\frac{1}{4}$ Umdrehung der Trommel 7 in die Prozessflüssigkeitsvorlage, hier Wasser, des Elektroporationsreaktors. Den Eintauchbereich bildet die Entgasungszone b. Hier wird durch geeignete Maßnahmen wie Wassereindüsung, Vibration oder sonst dafür geeignete Maßnahmen, anhaftende Luftblasen und Luftblasen überhaupt, entfernt. Dies ist wichtig, da die beim Durchschlagen der Hochspannung an Gasblasen Schockwellen entstehen, die den Reaktor allmählich, also länger- oder langzeitlich in seiner Funktion beeinträchtigen, ihn sogar zerstören.

Nach dem Eintauchen in die Wasservorlage und der Entgasung werden die Rüben sukzessive in die Reaktionszonen c gefördert. Das sind gemäß Figur 1 zwei, kann auch nur eine sein, können aber auch mehr als zwei sein. Die Pulsspannung, hier bis zu einigen 100 kV, wird über die metallischen Elektroden 1 in das Wasser eingekoppelt. Die mit Hochspannung beaufschlagbaren Elektroden 1 sind hier in der hochspannungsisolierenden Wand der Kammer 12 ohne Überhöhung zur Trommel hin eingebaut (siehe Figuren 1, 2 und 3). Die für die Hochspannungsentladung erforderlichen Gegenelektroden 2 bzw. das Bezugs- oder Erdpotential ist in der Mantelfläche der Trommel 7 durch die in den Spalt exponierten blanken Metall hergestellt (siehe die Abwicklung in Figur 3). Durch den Winkelversatz der einzelnen Pulselektroden erfährt das elektrische Feld ebenfalls unterschiedliche Ausrichtungen.

Nach dem Weiterdrehen der Förderkammern heben die Mitnehmer die prozessierten Rüben aus dem Wasserbad, sie werden dann über den Austragsrechen 14 aus der Förderkammer abgestreift. Hierbei kann das Rübenmaterial abtropfen und wird über die Austragsschurre 15 der weiteren Verarbeitung zugeführt.

Mitnehmer 5, Reaktorgehäuse 11 im Bereich der Reaktionskammer, dielektrische Isolationsschicht der Trommel 7 sowie Hochspannungsisolation der Pulselektroden 12 sind aus elektrisch isolierendem Werkstoff wie Polyethylen natur, Polyethylen schwarz, Polypropylen grau, Polyurethan PU, verstärktes bzw. glasfaserverstärktem Werkstoffen hergestellt, bzw. durch dieses elektrisch isoliert.

Form und Oberfläche der Mitnehmer 5 ist so optimiert, dass die erforderliche mechanische Stabilität vorhanden ist und Hochspannungsgleitentladungen verhindert werden.

Zur Unterdrückung von elektromagnetischer Strahlung in die Umgebung ist die Anlage ausreichend, z.B. metallisch geschirmt.

Die oberhalb des Flüssigkeitsspiegels liegende Drehachse/Welle 3 der Trommel vermeidet nicht einfach zu beherrschende Abdicht- und damit elektrische Isolationsprobleme.

Zusammenfassung:

Elektroporationsreaktor zur kontinuierlichen Prozessierung von stückigen Produkten wie Agrarprodukten und auch tierische Produkten. Hierzu läuft eine Trommel mit Mitnehmern auf ihrer äußeren Mantelfläche in einer Prozessflüssigkeit, meist Wasser, die in einer Kammer gefasst ist, um und nimmt das zu prozessierende Gut, das über eine Öffnung zugeführt wird, mit. Das Prozeß- oder Erntegut läßt man beim Eintauchen zunächst entgasen, bis es beim weiteren Transport in die eigentliche Prozesszone gelangt, wo es kurzzeitigen elektrischen Feldern hoher Stärke derart ausgesetzt wird, um hochwahrscheinlich die für die Poration an den Zellwänden des Prozessguts notwendige Potentialdifferenz entlang der längeren Zellachse einwirken lassen zu können. Beim Weitertransport wird das prozessierte Gut dann über einen Rechen aus dem Reaktor gehoben und auf eine Austragsschurre gelenkt.

Bezugszeichenliste

1	Elektrode, Elektrodengruppe
2	Bezugspotential- bzw. Erdpotentialelektrode
3	Rotationsachse, Welle
4	Antriebseinheit, Motor
5	Mitnehmer
6	Zuführrechen
7	Trommel
8	Potentialabgriff
9a	Potentialanschluss Impulserzeugung
9b	Pulsanschluss Impulserzeugung
10	Hochspannungsdurchführung
11	Reaktorgehäuse
12	Reaktionskammer
13	Produktaufgabevorrichtung
14	Austragsrechen
15	Austragsschurre
a	Zuführzone
b	Entgasungszone
b1	Füllstand Prozessflüssigkeit Ablauf
c	Reaktionszone, wirksamer Bereich kritische elektrisches Feld
d1	Füllstand Prozessflüssigkeit Zulauf
d	Austragszone



Elektroporationsreaktor, Schnitt

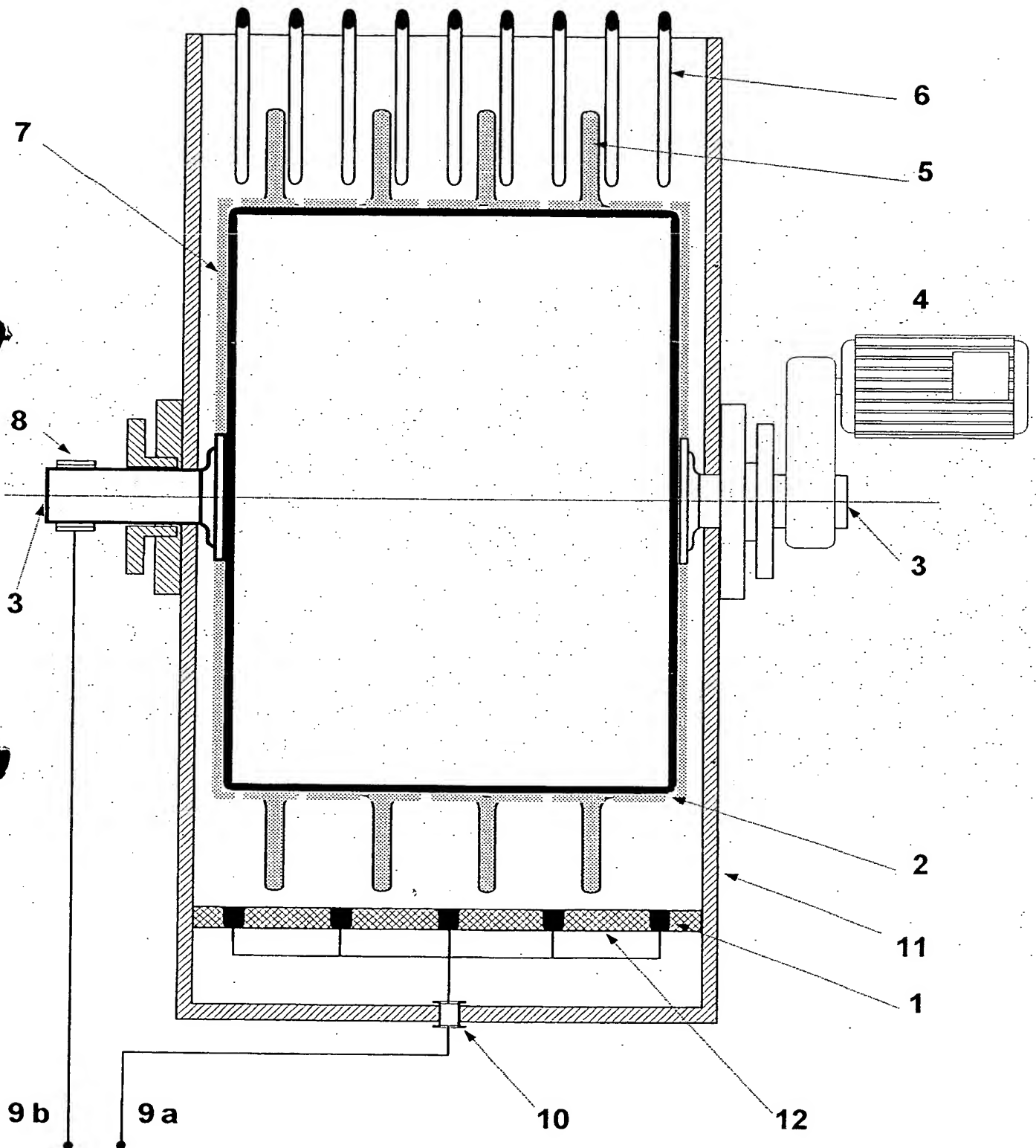


Fig 2.

Abwicklungen Reaktorflächen

Reaktorinnenfläche
(Potentialelektroden
auf der Trommel,
Drehrichtung angegeben)

Reaktorausßenfläche
(HV - Elektroden, stationär)

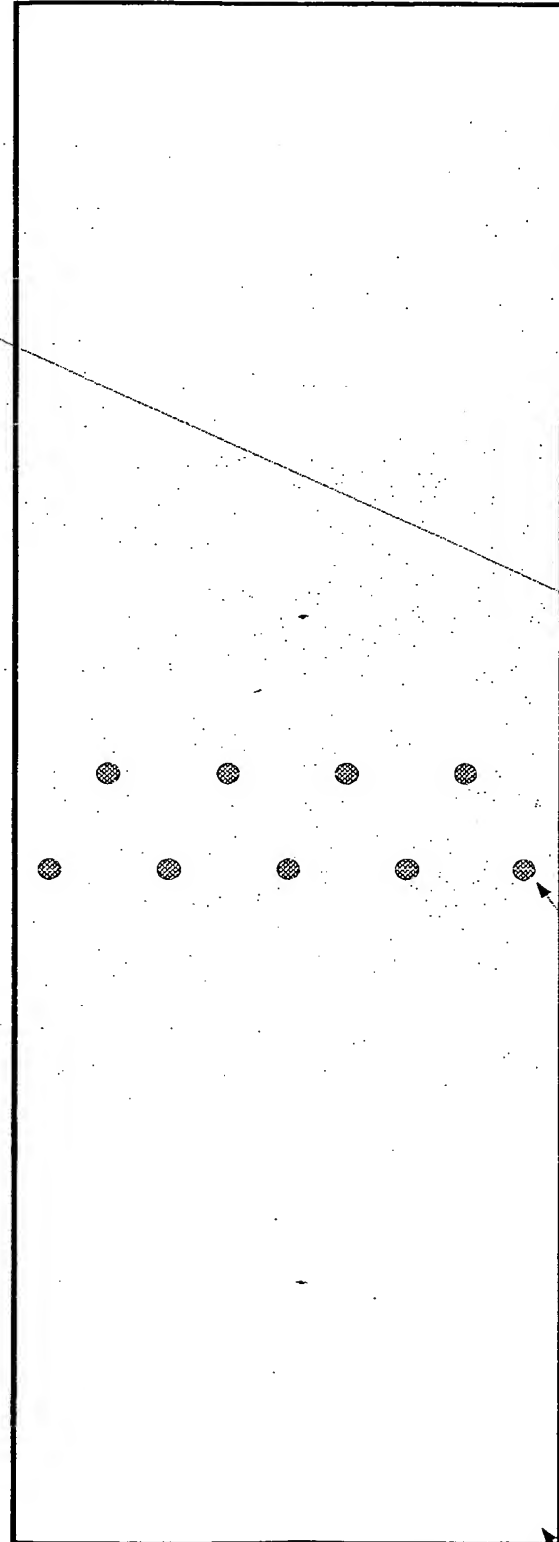
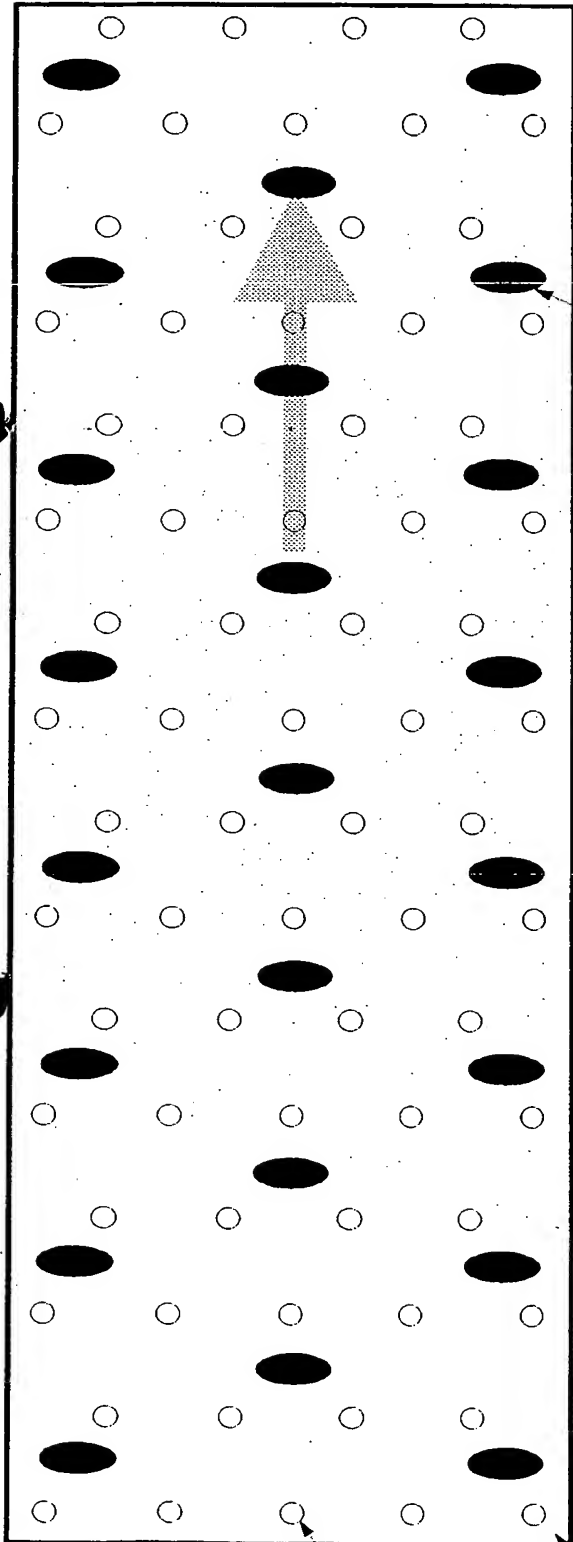


Fig 3

2

7

12

5

1